

ФОРМУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ЛОКАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ОЦІНКИ МІРИ БЛИЗЬКОСТІ РОЗМІЩЕННЯ ОБ'ЄКТІВ

У статті розглянуто проблеми ефективного використання енергетичних ресурсів в Україні. Визначені переваги створення інтелектуальних мереж з технологією Smart Grid, застосування відновлюваних джерел енергії в локальних енергетичних системах. Сформовані вимоги до розподільних мереж, найбільш розповсюджених на території нашої країни.

Проаналізовано питання техніко-економічного аналізу ефективності комбінованих технологій в електроенергетиці. Розглянуто питання застосування кластерного аналізу у процесі моделювання локальної електроенергетичної системи. Узагальнено процес моделювання локальної електроенергетичної системи.

Виділено ряд критеріїв оцінки оптимальності локальної електроенергетичної системи, що є базовим елементом в процесі підвищення енергоефективності системи. Показано застосування міри близькості між різними варіантами розподілу скінченної множини об'єктів на підмножини, які перетинаються. Запропоновано алгоритм формування оптимальної структури локальної електроенергетичної системи.

Ключові слова: локальна енергетична система, енергетична ефективність, Smart Grid, Microgrid, кластерний аналіз, коефіцієнт стійкості розвитку, міра близькості об'єктів.

Зростання тарифів на електричну і теплову енергію внаслідок вичерпання потенціалу зростання централізованих енергосистем і відсутності конкуренції на роздрібному ринку, нездатність високоінерційних централізованих систем задовольнити різноманітності попиту на енергію призвело до наростаючого відходження споживачів від централізованого енергопостачання до власної генерації і розвитку розосередженої енергетики. Одночасно з цим триває процес формування локальних електроенергетичних систем, які успішно конкурують з централізованою енергетикою за рахунок наближення виробництва електроенергії і тепла до споживачів, що значно скорочує витрати на транспортування енергії, а отже й скорочує її вартість [1, 2, 3].

Динамічні зміни в сценарії світового розвитку, що сталися протягом останніх років, змусили багато країн переглянути підходи до реалізації енергетичної політики та забезпечення національної енергетичної безпеки, на власному досвіді з'ясувати нові грані її розуміння в глобалізованому просторі, звернути увагу на нові ризики функціонування локальних енергетичних систем. Більшість електричних мереж в Україні знаходяться у експлуатації тривалий час, що збільшує рівень втрат електричної енергії та знижує їх пропускну здатність, також значна частина розподільних мереж напругою 6 – 35 кВ (через їх розгалуженість) не оснащена належними засобами протияварійного захисту та автоматики, що збільшує рівень пошкоджуваності цих елементів [4].

На сьогодні у всіх розвинених країнах світу приділяється велика увага системам електроенергетики, що використовують найсучасніше обладнання та технології, засоби вимірювання і управління, які дозволяють на більш високому рівні забезпечити надійність і економічність функціонування електроенергетичних систем [1, 3]. Одним з варіантів вирішення окресленої проблеми є створення локальних мереж, які використовують енергію розподілених джерел енергії. Під інтелектуальними енергосистемами Smart Grid розуміється така система виробництва, передачі і розподілу енергії, яка поєднує в собі елементи традиційної енергетики і новітні енергетичні технології, комплексні інструменти контролю і моніторингу, а також інформаційні технології та засоби комунікації, що забезпечують більш високу продуктивність енергомережі [4, 5]. Створення інтелектуальних мереж дозволяє підвищити надійність енергопостачання і стабільність енергосистеми в цілому.

Електроенергетичні системи під назвою Microgrid є однією з ключових концепцій, спрямованих на розвиток і модернізацію енергетики в усьому світі. Microgrid – концепція локальних енергетичних систем, які можуть працювати як спільно з централізованою енергосистемою району, так і автономно. Генерація будується на традиційному паливі і на використанні поновлюваних джерел енергії. Ключовими елементами таких мереж є децентралізація контролю над мережею завдяки локальним мережевим вузлам, сучасним системам контролю, моніторингу та розподілу електроенергії, а також включенням в мережу відновлюваних джерел електроенергії. Ідея створення Microgrid ґрунтується на створенні локальних (приклад рис. 1).

мережових енергоструктур в окремих регіонах.

Зазначені процеси актуальні також для України, проте не завжди законодавча та технічна база дозволяє провести певні зміни, що викликані наведеними факторами. Концепцію зміни розподільних мереж, найбільш розповсюджених на території нашої країни, можна сформулювати у вигляді наступних вимог [2, 3, 4, 6]:

- доступність: забезпечення споживачів електроенергією без обмежень в залежності від того, коли і де вона їм необхідна, і в залежності від її якості, оплачуваної споживачем;
- надійність: можливість протистояння фізичним і інформаційним негативним впливам без тотальних відключень або високих витрат на відновлювальні роботи, максимально швидке відновлення (самовідновлення) працездатності;
- економічність: оптимізація тарифів на електричну енергію для споживачів і зниження загальносистемних витрат;
- ефективність: максимізація ефективності використання всіх видів ресурсів, технологій і устаткування при виробництві, передачі, розподілі та споживанні електроенергії;
- органічність взаємодії з навколишнім середовищем: максимально можливе зниження негативних екологічних впливів;
- безпека: недопущення ситуацій в електроенергетиці небезпечних для людей і навколишнього середовища.

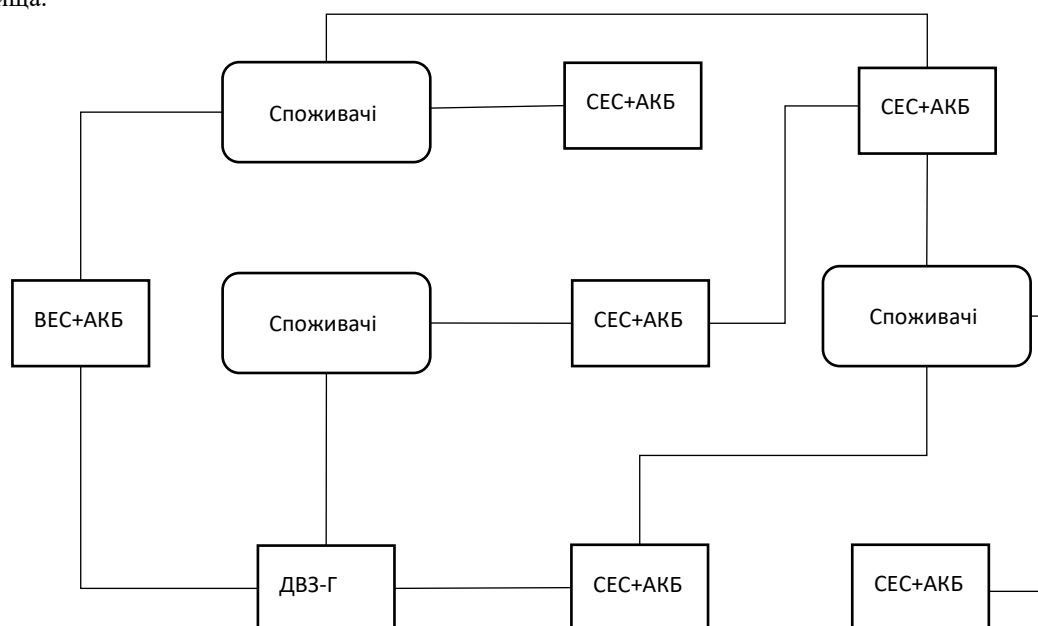


Рисунок 1 – Структура локальної мікромережі:

ДВЗ-Г – двигун внутрішнього згоряння - генератор; АКБ – акумуляторна батарея; ВЕС – вітряна ЕС; СЕС – сонячна ЕС; МГЕС – мала гідроелектростанція (мікрогідроелектростанція); БГЕС – біогазова електростанція; СК – система керування

Системи Microgrid, які з'єднані з централізованими електричними мережами, несуттєво впливають на їх роботу, оскільки основна частина виробленої електроенергії споживається на місці її виробництва і виключає втрати, пов'язані з транспортуванням.

Оскільки Microgrid не має численного обслуговуючого персоналу і великих накладних витрат, це дозволяє встановити ціну на електроенергію нижче ринкової [7].

Питанням техніко-економічного аналізу ефективності комбінованих технологій в електроенергетиці, сьогодні приділяється особлива увага. Розробка підходів до моделювання подібних технологій, методів оптимізації та відповідного програмного забезпечення дозволить вибирати ефективні схемні рішення, відповідне обладнання, і, тим самим, створити основи технології Smart Grid для автономних енергокомплексів, які оптимально забезпечать змінні енергетичні навантаження споживача. Алгоритми рішення таких оптимізаційних задач в рамках технології Smart Grid потрібно розглядати як частину алгоритмів, які включаються в систему керування енергокомплексом, що накладає жорсткі умови на їх швидкодію і комп'ютерні ресурси у зв'язку з необхідністю багаторазового і швидкого вирішення локальних задач оптимізації [5].

Базовими елементами в процесі підвищення енергоефективності локальної електроенергетичної системи є розробка відповідної системи критеріїв оцінки та її елементів, методик оцінки ефективності

схем функціонування в режимах оптимального споживання енергоносіїв, проведення їх енерготехнологічного обстеження та оцінки взаємного впливу окремих елементів. Щодо процедури досягнення ефективності енергоресурсів, то вони визначаються багатьма факторами, що обумовлюють існування та застосування відносно великої кількості показників. Визначення та урахування цих факторів, а також у першу чергу їх пріоритетності, обумовило необхідність застосування трьох систем показників: енергетичних, економічних, екологічних, що вважається достатнім для всебічної оцінки ефективності нововведень [8, 9].

Проблема групування об'єктів за декількома кількісними показниками успішно вирішується за допомогою багатомірних методів аналізу, зокрема кластерного аналізу. Кластер – це група, клас однорідних одиниць сукупності. Основне завдання кластерного аналізу – формування таких груп у багатовимірному просторі [10, 11].

Цілі кластеризації можуть бути різними в залежності від особливостей конкретної прикладної задачі [12]:

- визначення структури безлічі даних, розбивши його на групи схожих об'єктів, для спрощення подальшої обробки даних в кожному кластері окремо;
- скорочення обсягу збережених даних, залишивши по одному найбільш типовому представникові від кожного кластера;
- виділення нетипових об'єктів, які не підходять до жодного з кластерів.

Основна суть алгоритмів кластеризації полягає в наступному. Є навчальна послідовність (набір даних) $\{x_1, \dots, x_n\} \in X$ і функція відстані між об'єктами $\rho(x, x')$. Потрібно розбити послідовність на підмножини, які не пересікаються (звані кластерами) так, щоб кожен кластер складався з об'єктів, близьких за метрикою ρ , а об'єкти різних кластерів істотно відрізнялися. Алгоритм кластеризації – це функція $a: X \rightarrow Y$, яка будь-якому об'єкту $x \in X$ ставить у відповідність мітку кластера $y_i \in Y$. Кількість міток Y заздалегідь невідомо.

Кількість методів розбиття груп об'єктів на кластери досить велике – кілька десятків алгоритмів і ще більше їх модифікацій. У кластеризації виділяють два основних підходи: декомпозиція (неієрархічні), коли кожен об'єкт пов'язаний тільки з однією групою, і кластеризація на основі ієрархій (ієрархічний), коли кожна група більшого розміру складається з груп меншого розміру.

Вирішення задачі кластеризації неоднозначно, оскільки не існує найкращого критерію якості кластеризації, число кластерів, як правило, невідомо заздалегідь і встановлюється відповідно до деякого суб'єктивного критерію, а також результат кластеризації в багатьох алгоритмах істотно залежить від метрики, вибір якої найчастіше суб'єктивний і визначається експертом [11, 12].

Оцінку та систематизацію споживачів електричної енергії здійснюють по наступним експлуатаційно-технічним ознакам: виробниче призначення та зв'язки; режими роботи; рівень потужності; напруга та роду струму; територіальне розміщення; вимоги до надійності електропостачання; стабільність розміщення електроприймачів [13]. Надійність електропостачання визначається числом незалежних джерел живлення та схемою електропостачання.

Узагальнено процес моделювання локальної електроенергетичної системи може бути представлений наступною процедурою. Спочатку на основі первинної моделі M_C системи проводиться агрегування (укрупнення та уніфікація) елементів та параметрів системи (визначення множини елементів, їх зв'язків та параметрів, які необхідно враховувати при моделюванні). Це дозволяє сформувати агреговану модель M_{AGR} . Далі на основі агрегованої моделі M_{AGR} проводиться діакоптика (еквівалентної схеми чи системи рівнянь) на складові, а потім – редукція отриманих моделей з побудовою їхнього ряду редуційованих моделей на основі виділення значимих і незначимих елементів моделі. Виділення значимих та незначимих елементів, параметрів та режимів вимагає використання граничних коефіцієнтів [14, 15].

Введемо позначення: AGR – операція агрегування елементів та параметрів моделі M_C ; D – операція діакоптики моделі M_{AGR} на складові M_1, \dots, M_d ; R – операція редукції моделі M_j з отриманням моделі M_Σ ; S – операція синтезу нової моделі, на основі результатів моделювання моделі M_Σ з отриманням моделі M_Σ (виконання модифікації моделі M_Σ). Операція синтезу S реалізується у випадку необхідності здійснення модернізації (вдосконалення) локальної електроенергетичної системи. Структурну схему моделювання тоді можна записати у вигляді

$$AGR(M_C) \rightarrow D(M_{AGR}) \rightarrow R(M_j)_{j=1,d} \rightarrow M_\Sigma \rightarrow S(M_\Sigma) \rightarrow M_\Sigma, \quad (1)$$

де M_j – виділені в результаті діакоптики моделі еквівалентної підсхеми; $D(M) = \{M_1 \dots M_d\}$; $R(M_j)_{j=1,d} = \{M_{j1}, \dots, M_{jl,j}\}$; $M_\Sigma = \{M_{1,1}, \dots, M_{1,l1}, M_{2,1}, \dots, M_{d,ld}\}$; $d, lj (j = 1, d)$ – рівні діакоптики та редукції [16].

Для оцінки досягнення мети використовується цілий ряд показників – критеріїв, так як енергетична система системи носить багатовимірний характер. Кожен з критеріїв повинен бути кількісно вимірний, визначений на одній з шкал вимірювань.

При прийнятті управлінських рішень можуть бути використані всі відомі види шкал: номінальна, рангова, інтервальна і абсолютна. Важливим завданням є побудова системи показників, що відображають генеральну мету особи, яка приймає рішення. У літературі сформульовано цілий ряд вимог, яких необхідно дотримуватися, щоб використання системи показників було виправданим. Це вимоги повноти, дієвості, розложення, ненадлишковості та мінімальної розмірності [17].

Вирішення задачі групового вибору альтернатив – процес складний і багатоетапний. Великий обсяг вихідної інформації, причому часто суперечливої і розрізної, складність алгоритмів групового вибору, а також необхідність аналізу та коригування отриманої інформації на кожному кроці прийняття колективних рішень вимагають використання сучасних обчислювальних засобів. Рішення всіх цих проблем покладається на інтелектуальну систему підтримки групового вибору [18].

Отримана в процесі підготовки рішення інформація про безліч значень (якісних або кількісних оцінок) критеріїв по оцінюваним альтернативам в передбачуваних можливих ситуаціях їх реалізації зменшує невизначеність завдання і забезпечує умови для вибору оптимального рішення.

Оцінка альтернатив $x \in X$ проводиться на базі можливої інформації про критерії $k \in K$ і передбачуваних станах зовнішнього середовища $e \in E$ при реалізації цих альтернатив вибору варіантів системи (таблиця 1).

Таблиця 1 – Інформація для оцінки альтернатив вибору варіантів системи

Критерій		Стан	
Потужність (кількість елементів у множині) критеріїв K	Шкала вимірювань	Потужність (кількість елементів у множині) станів зовнішнього середовища E	Опис
Один критерій	Якісна (рангова)	Один стан	Визначеність
Багато критеріїв	Кількісна	Багато станів	Ризик, невизначеність

Наявність і відсутність будь-якої інформації дозволяє виділити характерні типи індивідуальних завдань прийняття рішень [19].

В якості критеріїв оптимальності ми будемо використовувати наступні [8, 9]:

1. Енергетичні. Під енергетичною ефективністю будемо розуміти сукупність різних показників, які впливатимуть на обсяги виробленої енергії і відповідно на витрати [20]. Серед цих показників можна виділити такі, як ККД, тривалість роботи за рік, матеріалоємність, територія, яку займає генеруючий енергооб'єкт, надійність, якість енергії.

2. Економічні. До них зазвичай відносять ті, що дозволяють визначити обсяги можливої економії палива і енергії, масштабність реалізації енергозберігаючих заходів, а також характеризувати рівень їх ефективності. Це можуть бути питомі витрати енергетичних ресурсів (палива, тепла та електричної енергії) на виробництво продукції, коефіцієнти корисного використання енергоресурсів, показники втрат енергоресурсів, енергоємність основних виробничих фондів, сировина та матеріали тощо.

Систему економічних показників для визначення економічної ефективності енергозберігаючих заходів складають вартісні показники використання енергоресурсів і супутніх виробничих процесів з метою попередження можливих втрат та покращення результатів діяльності галузі економіки, регіону або підприємства (організації) [21].

Завдяки існуючій у світовій практиці методиці розрахунку ефективності, енергозберігаючі проекти або заходи слід проводити з використанням таких показників, як чистий дисконтований прибуток, термін окупності, індекс прибутковості [21, 22]. Наприклад, у процесі визначення ефективності енергозберігаючого проекту необхідно провести порівняння різночасових економічних показників шляхом їх приведення до якогось одного певного моменту. Результати дослідження дають змогу вважати енергозберігаючий захід або проект економічно ефективним при наявності прибутку, який утворився при впровадженні даного заходу:

$$E_2 = C_{3п} \times Q_{3п} / B_{\Sigma}, \quad (2)$$

де $C_{3п}$ та $Q_{3п}$ – ціна та вартість заміщеного умовно палива; B_{Σ} – сумарні приведені витрати за термін служби генеруючого енергооб'єкта. Величина B_{Σ} визначається як сума наступних доданків:

$$B_{\Sigma} = B_{\text{Б}} + B_{\text{Е}} + B_{\text{П}} + B_{\text{ТР}} + B_{\text{ЛП}} + B_{\text{Д}} + B_{\text{Е.ЗБ}} \quad (3)$$

де $B_B, B_E, B_P, B_{TP}, B_{LP}, B_D$ – приведені затрати на будівництво генеруючого енергооб'єкта, його експлуатацію протягом терміну служби, на паливо, транспорт, лінії електропередач і додаткові витрати; $B_{E.ЗБ}$ – приведені сумарні витрати на компенсацію екологічного збитку. Величина $C_{ЗП} \times Q_{ЗП} = E_P$ визначає економічну ефективність від заміщення палива. Це досить таки важливий показник, оскільки може порівнювати різні технології і визначення економічного ефекту від використання енергетичного потенціалу [20].

3. Екологічні. Проблема енергозбереження тісно пов'язана з екологічною, оскільки видобуток, переробка та споживання енергоресурсів практично завжди супроводжуються забрудненням навколишнього середовища. При виявленні резервів покращення екологічної ситуації шляхом зниження викидів у процесі спалювання палива можливе виконання умов забезпечення охорони життєдіяльності людини. Це може бути досягнуто при раціональному підборі видів палива за рахунок впровадження досконалих критеріїв вибору енергозберігаючих заходів, використання повномасштабної та часткової підготовки палива до спалювання, впровадження нових технологій, пошуку нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії та використання вторинних ресурсів.

Критерії екологічності можна представити у вигляді:

$$E_1 = E_B \times E_{AB}, \quad (4)$$

де E_B та E_{AB} – екологічна та абсолютно екологічна безпечність.

Екологічна шкода, яка буде заподіяна середовищу, визначається згідно співвідношення:

$$E_B = 1 / E_{AB}, \quad (5)$$

Можна зазначити ще одну умову впровадження енергозберігаючих заходів, яка буде впливати на екологічність – скорочення споживання енергоресурсів, яке має здійснюватися на фоні контрольованої якості. Завдяки цьому викиди шкідливих речовин будуть автоматично скорочуватись.

Таблиця 2 – Критеріальна оцінка альтернатив вибору варіантів системи

Критерій		Стан
Потужність об'єктів локальної електроенергетичної системи	M1	Велика
	M2	Середня
	M3	Низька
Енергетична ефективність об'єктів локальної електроенергетичної системи	En1	Висока
	En2	Середня
	En3	Нижче середньої
	En4	Низька
Екологічна ефективність об'єктів локальної електроенергетичної системи	Ek1	Висока
	Ek2	Вище середньої
	Ek3	Середня
	Ek4	Низька

При оптимізації параметрів і режимів енергосистеми необхідно задіяти механізм ранжирування варіантів оптимального розміщення об'єктів. Для цього пропонується використовувати концепцію відстані при ранжируванні безлічі об'єктів, що забезпечують найбільше погодження варіантів з індивідуальними впорядкуваннями експертів. Одна з основних конструкцій зазначеного підходу – побудова «усередненої» ознаки, фактору, що представляє сукупність заданих ознак, як «найбільш близького» до цієї сукупності в геометричному просторі як кількісних, так і якісних ознак [23].

У даний час розподіл множини об'єктів, кожен з яких характеризується сукупністю кількісних ознак, на підмножини, що не перетинаються, виконують двома принципово різними способами.

Перший спосіб – це формальна класифікація (розподіл об'єктів методами кластерного аналізу). Другий спосіб – це класифікація, що виконується експертними методами. У цьому випадку розв'язання задачі має суб'єктивний характер. Експерти, здійснюючи класифікацію, неминуче виходять за рамки формальних обмежень, доповнюючи систему ознак інтуїтивними уявленнями про особливості системи, яку вони вивчають [24].

Будемо обирати ознаки для групування об'єктів по мірі їх впливу на результати класифікації. Оцінювати цю міру будемо за величиною коефіцієнта стійкості розбиття [25, 26].

Нехай на множині альтернатив $L = \{l_1, l_2, \dots, l_n\}$ задані індивідуальні переваги експертів у вигляді матриць попарних порівнянь альтернатив R_1, R_2, \dots, R_m . Потрібно знайти одне або декілька найбільш бажаних альтернативних варіантів рішень або ранжувати варіанти по перевагам.

Зазвичай інформація, яку має кожен з експертів, буває неповною і розрізною. Для побудови колективної структури переваг необхідно представити отриману від експертів інформацію в

структурованому і формалізованому вигляді. У разі отримання суперечливої, неузгодженої інформації використовувати алгоритми, що дозволяють усувати протиріччя [18].

Основною при обробці ознак служить кількісна міра близькості розбивок даної множини L . Оцінкою розбіжності цього розбиття, згідно роботи [27] буде коефіцієнт стійкості розбиття:

$$L(R_i, R_j) = \frac{d(R_i, R_j)}{\frac{1}{2}(\sum_{i=1}^{I_1} |R_i|^2 + \sum_{j=1}^{I_2} |R_j|^2)}, \quad (6)$$

де I_1 – кількість підмножин вихідної множини L при способі розбиття R_i ; I_2 – кількість підмножин вихідної множини L при способі розбиття R_j ; $|R_i|$, $|R_j|$ – потужності відповідних підмножин.

У свою чергу, для оцінки близькості між двома різними розбиттями R_i та R_j кінцевої множини об'єктів L в [28] отримано вираз:

$$d(R_i, R_j) = \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^{I_1} |R_i|^2 + \sum_{j=1}^{I_2} |R_j|^2 \right) - \sum_{i=1}^{I_1} \sum_{j=1}^{I_2} |R_i \cap R_j|^2. \quad (7)$$

Якщо розбиття R_i та R_j повністю співпадають, то має місце співвідношення:

$$\sum_{i=1}^{I_1} |R_i|^2 + \sum_{j=1}^{I_2} |R_j|^2 = \sum_{i=1}^{I_1} \sum_{j=1}^{I_2} |R_i \cap R_j|^2, \quad (8)$$

якщо розбиття R_i та R_j не мають жодного спільного елементу, тоді $R_i \cap R_j = 0$, а отже

$$\sum_{i=1}^{I_1} \sum_{j=1}^{I_2} |R_i \cap R_j|^2 = 0. \quad (9)$$

Величина $d(R_i, R_j)$ буде рівна нулю при повністю співпадаючих способах розбиття та одиниці при повністю неспівпадаючих.

Таблиця 3 – Критерії для групування об'єктів

Кількість елементів у множині	Потужність об'єкту			Енергетична ефективність об'єкту			Екологічна ефективність об'єкту		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	М1	М1	М1	Ен4	Ен3	Ен4	Ек4	Ек3	Ек3
2	М1	М1	М1	Ен4	Ен3	Ен2	Ек4	Ек2	Ек1
3	М1	М1	М1	Ен2	Ен2	Ен2	Ек3	Ек2	Ек1
4	М1	М2	М2	Ен1	Ен4	Ен3	Ек1	Ек4	Ек3
5	М2	М2	М2	Ен2	Ен2	Ен2	Ек3	Ек2	Ек1
6	М2	М3	М2	Ен2	Ен2	Ен2	Ек3	Ек3	Ек2
7	М2	М3	М3	Ен3	Ен3	Ен1	Ек2	Ек4	Ек3
8	М2	М3	М3	Ен3	Ен2	Ен1	Ек1	Ек2	Ек3
9	М2	М3	М2	Ен1	Ен4	Ен3	Ек1	Ек3	Ек4
10	М3	М1	М2	Ен1	Ен1	Ен1	Ек2	Ек1	Ек1
11	М3	М1	М1	Ен1	Ен2	Ен3	Ек1	Ек1	Ек3
12	М3	М2	М1	Ен2	Ен2	Ен2	Ек2	Ек2	Ек4
13	М3	М2	М1	Ен3	Ен2	Ен2	Ек3	Ек2	Ек4
14	М3	М2	М3	Ен2	Ен1	Ен4	Ек3	Ек1	Ек3
15	М3	М2	М3	Ен3	Ен2	Ен3	Ек4	Ек2	Ек2

Для реалізації наведеного механізму запропоновано наступний алгоритм формування оптимальної структури локальної електроенергетичної системи [18, 19, 23, 27, 28]:

- 1) кожному об'єкту $l_1, l_2, \dots, l_n \in L$ присвоюється значення ознак R_1, R_2, \dots, R_m ;
- 2) здійснюється класифікація об'єктів на групи, до яких входять об'єкти l_n ;
- 3) вводиться умова, що кожна ознака R_i може приймати n_i значень, тобто кожен об'єкт l_n характеризується упорядкованим набором: $R_1(l_n), R_2(l_n), \dots, R_m(l_n)$;
- 4) виконується упорядкування значення рангової ознаки за ступенем її прояву, а значить, породжуємо упорядковану розбивку множини об'єктів;

5) знаходиться міра $d(R_i, R_j)$ близькості розбивок, що задовольняє умовам 1 – 4, згідно з формулою (7).

6) по мірі близькості розбивок проводиться класифікація об'єктів на групи так, щоб до однієї групи потрапили «близькі», а до іншої «далекі» об'єкти (згідно з формулою (6)).

Розглянемо систему, яка складається з 15 елементів $L = \{1, 2, \dots, 15\}$. Два різних розбиття даної множини R_i та R_j :

$$R_i = \overline{1,2,3,4} \overline{5,6,7,8,9} \overline{10,11,12,13,14,15},$$

$$R_j = \overline{4,9,10,11} \overline{3,5,6,12,14} \overline{7,8,13,15} \overline{1,2}.$$

Для оцінки близькості між даним розбиттям R_i та R_j виконаємо наступні розрахунки:

1. Розрахуємо суми квадратів чисел об'єктів, які належать кожному класу відповідного розбиття:

$$\sum_{i=1}^{I_1} |R_i|^2 = 4^2 + 5^2 + 6^2 = 77,$$

$$\sum_{j=1}^{I_2} |R_j|^2 = 4^2 + 5^2 + 4^2 + 2^2 = 61.$$

2. Потужність множин, які створені перетином множин R_i та R_j :

$$R_i \cap R_j = \{\overline{1,2} \overline{3} \overline{4} \overline{5,6} \overline{7,8} \overline{9} \overline{10,11} \overline{12,14} \overline{13,15}\}.$$

Відповідно сума квадратів дорівнює:

$$\sum_{g=1}^{I_1} \sum_{k=1}^{I_2} |R_i \cap R_j|^2 = 2^2 + 1^2 + 1^2 + 2^2 + 2^2 + 1^2 + 2^2 + 2^2 + 2^2 = 27.$$

3. Підставимо ці результати в (7), а потім в (6) та отримаємо:

$$d(R_i, R_j) = \frac{1}{2}(77 + 61) - 27 = 42, \quad L(R_i, R_j) = \frac{42}{\frac{1}{2}(77+61)} = 0,609.$$

Даний коефіцієнт показує наскільки близькі ці розбиття та чи співпадають групування, сформовані при даних способах розбиття. Аналогічно розрахуємо коефіцієнти для всіх обраних угруповань для кожного з періодів і занесемо їх у таблицю 4.

Таблиця 4 – Матриця взаємної оцінки стійкості розбиття

Показники	Потужність об'єкту	Енергетична ефективність об'єкту	Екологічна ефективність об'єкту
Потужність об'єкту	0	0,609	0,632
Енергетична ефективність об'єкту	–	0	0,417
Екологічна ефективність об'єкту	–	–	0
Потужність об'єкту	0	0,582	0,554
Енергетична ефективність об'єкту	–	0	0,382
Екологічна ефективність об'єкту	–	–	0
Потужність об'єкту	0	0,338	0,591
Енергетична ефективність об'єкту	–	0	0,554
Екологічна ефективність об'єкту	–	–	0

Аналізуючи отримані результати із таблиці 4 можна стверджувати, що найбільша відстань виникає між розбиттями «потужність об'єкту» та «екологічна ефективність об'єкту», її значення лежить в межах 0,554...0,632. Це означає, що групування по критеріям «потужність об'єкту» та «екологічна ефективність об'єкту», сформовані при прийнятих способах розбиття, не значимі для системи і їх можна не враховувати при подальших дослідженнях. Найменша відстань між розбиттям 0,338 «потужність

об'єкту» та «енергетична ефективність об'єкту», це означає, що ці елементи більш значимі в системі і їх необхідно першочергово враховувати при підвищенні локальної електроенергетичної системи.

Одним з найважливіших заходів підвищення енергоефективності локальної електроенергетичної системи при заданих екологічних обмеженнях є оцінка достовірності інформації, використання адекватних методів і алгоритмів аналізу енергетичних процесів, окремих характеристик і показників відносно яких приймаються рішення і здійснюється практична реалізація напрямків підвищення енергоефективності. Важливим при цьому є вибір та використання ефективних алгоритмів експертних оцінок.

Запропонований алгоритм формування оптимальної структури локальної електроенергетичної системи передбачає:

1. Формування системи показників та подальшого їх використання при групуванні об'єктів.
2. Розбиття об'єктів на групи та пошуку відстані між даними групами об'єктів. При формуванні моделі локальної електроенергетичної системи важливим є виділення каналів, їх взаємозаміни та взаємодоповнення, принципів та етапів агрегування, декомпозиції, редукції. Вибір структури із виділенням і ранжуванням значимих (незначимих) параметрів, структур, процесів і режимів. Необхідність агрегування елементів та параметрів.
3. Знаходження міри близькості між об'єктами, що дозволяє зменшити затрати, сформувати дієві оптимізаційні процедури побудови та розвитку локальних енергетичних мереж. Показник $d(R_i, R_j)$ дозволяє розбити об'єкти на групи так, щоб у одну групу потрапляли «близькі», а в іншу «далекі» об'єкти, що в подальшому дозволить виділити значимі та незначимі елементи та приймати рішення щодо вибору оптимальних структур, параметрів і режимів роботи локальної електроенергетичної системи.

Список використаної літератури:

1. Интеллектуальная энергетическая система ТехноЭкопарк РГСУ. Концепция. В.И. Паршуков. Режим доступа: <http://don-tech.ru/>
2. Стогній Б.С. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, А.В. Праховник, С.П. Денисюк // Техн. електродинаміка. – 2012. – № 5. – С. 52 – 67.
3. Кобец Б.Б. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid / Кобец Б.Б., Волкова И.О. – М.: ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.
4. Остапчук О.В. Micro Grid – локальні енергетичні системи / О.В. Остапчук, К.В. Харсун // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2014. – № 153. – С. 32 – 33.
5. Майков И.Л. Решение задач оптимизации энергетических систем с несколькими автономными энергоустановками / Майков И.Л., Директор Л.Б., Зайченко В.М // Управление большими системами. – 2010. – № 31 – С. 110 – 129.
6. Lasseter, R.H. Microgrid: A Conceptual Solution/ R.H. Lasseter, P. Piagi. // PESG'04 Aachen, Germany. – 2004.
7. Микросеть на основе ВИЭ для энергоснабжения сельских территорий. Харченко В.В., Адомавичюс В.Б., Гусаров В.А., Стребков Д.С. Режим доступа: <http://www.ie.asm.md/assets/images/img/pdf/A-95.pdf>
8. Василенко В.І. Системна ефективність функціонування енергетичної системи з керованими навантаженнями / В.І. Василенко // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2015. – № 1. – С.70 – 81.
9. Денисюк С.П. Енергетичні, економічні та екологічні показники енергоефективності / С.П. Денисюк, В.І. Василенко // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2016. – № 1 – С. 33 – 44.
10. Єріна А.М. Статистичне моделювання та прогнозування / А.М. Єріна. – К : КНЕУ, 2001– 170 с.
11. Мандель И.Д. Кластерный анализ / Мандель И.Д. / М.: Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
12. Шалымов Д.С. Алгоритмы устойчивой кластеризации на основе индексных функций и функций устойчивости / Д.С. Шалымов // Стохастическая оптимизация в информатике. – 2008. – № 4. – С. – 236 – 248.
13. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для студентов высших учебных заведений / Б.И. Кудрин. – 2-е изд. – М.: Интермет Инжиниринг, 2006. – 672 с.
14. Денисюк С.П. Оптимизация электропотребления для энергосбережения в системах с преобразователями / Денисюк С.П. // Пробл. энергосбережения. – 1989. – № 2. – С. 49–52.
15. Ковалко М.П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / Ковалко М.П., /Денисюк С.П. / – К.: Українські енциклопедичні знання, 1998. – 512 с.
16. Денисюк С.П. Формування оптимальних структур систем енергопостачання з розподіленими об'єктами /Денисюк С.П., Гуз В.П., Шатан М.О. // Інститут електродинаміки Національної академії наук України. Збірник наукових праць. Спеціальний випуск. – 2005. – С. 25 – 29.

17. Литвак Б.Г. Разработка управленческого решения: Учебник / Б.Г. Литвак. – 5-е изд., испр. и доп. – М.: Дело, 2004. – 415 с.
18. Смерчинская С.О. Интеллектуальная система поддержки группового выбора / С.О. Смерчинская. // Труды Международной научно-методической конференции «Информатизация инженерного образования» - ИНФОРИНО-2012 (Москва, 10 – 11 апреля 2012 г.). – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 552 с.
19. Турунтаев Л.П. Разработка управленческих решений: Учебное методическое пособие / Турунтаев Л.П. // Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2004. – 74 с.
20. Беляев Ю.М. Критерии эколого-экономической эффективности энергетических технологий / Беляев Ю.М. // Промышленная энергетика. – 2003. – № 8. – С.39 – 44.
21. Микитенко В.В. Оцінка ефективності енерго- і ресурсозберігаючих технологій / Микитенко В.В. // Проблеми науки. – 2001. – № 12. – С.35 – 41.
22. Микитенко В.В. Інноваційна модель аналізу та прогнозу ефективності галузей і технологій / Микитенко В.В. // Проблеми науки. – 2002. – №4. – С.37 – 41.
23. Гуз В.П. Оптимальне розміщення енергетичних об'єктів при формуванні розподілених систем енергопостачання регіону / Шатан М. О., Гуз В.П. // Энергосбережение. – 2007. – № 9. – С. 27 – 30.
24. Варшавьяк Г.Б. Оценка близости многомерной классификации, выполненной экспертными методами / Г.Б. Варшавьяк, А.И. Ходырев // Системы обработки информации. – 2008. – № 5 – С. 148 – 150.
25. Величко Ю.О. Оценка устойчивости результатов кластерного анализа финансового состояния банков / Ю.О. Величко, В.Ю. Дубницкий, О.Н. Сидоренко // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. – 2007. – № 2 – С. 157 – 159.
26. Гадецька С.В. Метрична оцінка тотожності результатів економіко-географічного районування територій / С.В. Гадецька, В.Ю. Дубницкий, О.І. Ходирев. // Вісник Університету банківської справи Національного банку України. – 2009. – № 4. – С. 184 – 190.
27. Дубницкий В.Ю. Оценка устойчивости алгоритмов кластерного анализа / Дубницкий В.Ю. // Информационные системы. – 1997. – № 1 – С. 129 – 134.
28. Миркин Б.Г. Об измерении близости между разбиениями конечного множества объектов / Миркин Б.Г., Черный Л.Б. // Автоматика и телемеханика. – 1970. – № 5. – С. 120-127.

V. Vasilenko, ORCID 0000-0001-8571-2573

**National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
FORMATION THE OPTIMAL STRUCTURE OF LOCAL POWER SYSTEM BASED ON
VALUATION OF PROXIMITY PLACEMENT OF OBJECTS**

In the article is considered the problem of energy efficiency in Ukraine. The advantages of creating intelligent networking technology Smart Grid, the use of renewable energy in local energy networks are identified.

Formed requirements to distribution networks which are the most common in our country. Analyzed the issue of feasibility analysis of the effectiveness of the combined technologies in the power sector. The question of the use of cluster analysis in the modeling of the local power system are considered. Overview process modeling local power system is presented.

It identifies a number of criteria for assessing the optimality of the local power system, which is a basic element in the process of improving the system efficiency. Was shown the application measures the proximity between different versions of the distribution of a finite set of objects into subsets that intersect. An algorithm for the formation of the optimal structure of the local power system was proposed.

Keywords: local electricity grid, energy efficiency, Smart Grid, Microgrid, cluster analysis, splitting stability factor, a measure of proximity of objects.

References:

1. The Intelligent Energy System TehnoEkoparka RGSU. Concept. V.I. Parshukov. Access Mode: <http://don-tech.ru/>
2. Stogniy B.S. The evolution of smart grids and their prospects in Ukraine / B.S. Stogniy, O.V. Kirilenko A.V. Prakhovnik, S.P. Denisyuk // Tech. elektrodinamika. – 2012. – № 5. – P. 52 – 67.
3. Kobets B.B. Innovational Electricity Development based on concept of Smart Grid / B.B. Kobets, Y.O Volkova. – М.: Energy at IAC, 2010. – 208 p.
4. Ostapchuk O.V. Micro Grid – local energy systems / O.V. Ostapchuk, K.V. Harsun // Journal of Kharkov National Technical University of Agriculture Petro Vasilenko. – 2014. – № 153. – P. 32 – 33.

5. Mikov I.L. Meeting the challenges of optimization of energy systems with multiple stand-alone power plants / Mike IL, Director of LB, Zaichenko VM // *Bolshoy Management systems*. – 2010. – № 31 – P. 110 – 129.
6. Lasseter. R.H. Microgrid: A Conceptual Solution/ R.H. Lasseter, P. Piagi. // *PESC'04 Aachen, Germany*. – 2004.
7. Micronet based on renewable energy sources for power supply in rural areas. Kharchenko V.V, Adomavichus V.B, Gusarov V.A Strebkov D.S. Access Mode: <http://www.ie.asm.md/assets/images/img/pdf/A-95.pdf>
8. Vasilenko V.I. System efficiency of the power system with controllable loads / V.I. Vasilenko // *Energy: economics, technology, ecology*. – 2015. – № 1. – P. 70 – 81.
9. Denisyuk S.P. Energy, economic and environmental performance of energy / S.P. Denisyuk, V.I. Vasilenko // *Energy: economics, technology, ecology*. – 2016. – № 1 – С 33 – 44.
10. Yerina AM Statistical modeling and forecasting / AM Yerina. – K: Kyiv National Economic University, 2001. – 170 p.
11. Mandel, I.D. Cluster analysis / Mandel I.D. / M.: Finance and Statistics, 1988. – 176 p.
12. Shalymov D.S. Algorithms based on sustainable clustering index functions and function stability / D.S. Shalymov // *Stochastic optimization in computer science*. – 2008. – № 4. – С – 236 – 248.
13. Kudrin B.I. Electricity supply industry: a textbook for university students / B.I. Kudrin. – 2nd ed. – M.: Internet Engineering, 2006. – 672 p.
14. Denisyuk S.P. Optimization of power consumption for energy saving in the inverter / Denisyuk S.P. // *Problems. energy saving*. – 1989. – № 2. – P. 49 – 52.
15. Kovalko M.P. Energy conservation – a priority direction of state policy of Ukraine /Kovalko M.P., S.P. Denisyuk / – K.: Ukrainian encyclopedic knowledge, 1998. – 512 p.
16. Denisyuk S.P. Formation of optimal structures of power supply systems with distributed objects / Denisyuk S.P., Goose V.P., Shatan M.O. // *Institute of Electrodynamics National Academy of Sciences of Ukraine. Collected Works. Special Issue*. – 2005. – P. 25 – 29.
17. Litvak B.G. Developing management solutions: Textbook / B.G. Litvak. – 5th ed. and ext. – M.: Delo, 2004. – 415 p.
18. Smerchinskaya S.O. Intelligence System Support group selection. / S.O. Smerchinskaya. // *Proceedings of the International Scientific Conference "Informatization of Engineering Education" – INFORINO 2012 (Moscow, 10 – 11 April 2012)*. – M.: MEI Publishing House, 2012. – 552 p.
19. Turuntaev L.P. Development of managerial decisions: Training handbook / Turuntaev L.P. // *Tomsk intercollegiate center of Distance Education*, 2004. – 74 p.
20. Yuri Belyaev Criteria for environmental and economic efficiency of energy technologies / Yuri Belyaev // *Industrial power*. - 2003. – № 8. – P.39 – 44.
21. Mikitenko V.V. Evaluating the effectiveness of energy saving technologies / Mikitenko V.V. // *Problems science*. – 2001. – № 12. – P.35 – 41.
22. Mikitenko V.V. Innovative model analysis and prediction efficiency industries and technologies / Mikitenko V.V. // *Problems science*. – 2002. – №4. – P.37 – 41.
23. Goose V.P. Optimal placement of energy facilities in the formation of distributed energy systems of the region / Shatan M.O., V.P. Goose // *Power*. – 2007. – № 9. – P. 27 – 30.
24. Varshavyak G.B. The estimation of proximity multidimensional classification performed by expert methods / G.B. Varshavyak, A.I. Hodyrev // *Sistemi obrobki Informácie*. – 2008. – № 5 – S. 148 – 150.
25. Velichko J.O. Assessment of the stability of the results of cluster analysis of the financial condition of banks / J.O. Velichko, V.Y. Dubnitskiy, O.N. Sidorenko // *Collection Naukova Prace Harkivskogo universitetu Povitryanih forcch*. – 2007. – № 2 – P. 157 – 159.
26. Hadetska S.V. Metric evaluation results of the identity of the geographical zoning areas / S.V. Hadetska, V.Y. Dubnytsky, O.I. Khodyrev. // *Bulletin of the University of Banking of National Bank of Ukraine*. – 2009. – № 4. – P. 184 – 190.
27. Dubnitskiy V.Y. Assessment of the stability of algorithms of cluster analysis / Dubnitskiy V.Y. // *Information Systems*. – 1997. – № 1 – P. 129 – 134.
28. Mirkin B.G. On measuring the proximity between the partitions of a finite set of objects / B.G. Mirkin, Black L.B. // *Automation and Remote Control*. – 1970. – № 5. – P. 120 – 127.

**ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ЛОКАЛЬНОЙ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ МЕРЫ БЛИЗОСТИ
РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ**

В статье рассмотрены проблемы эффективного использования энергетических ресурсов в Украине. Определены преимущества создания интеллектуальных сетей с технологией Smart Grid, применение возобновляемых источников энергии в локальных энергетических системах. Сформированы требования к распределительным сетям, которые наиболее распространены на территории нашей страны.

Проанализированы вопросы технико-экономического анализа эффективности комбинированных технологий в электроэнергетике. Рассмотрены вопросы применения кластерного анализа в процессе моделирования локальной электроэнергетической системы. Представлен обобщенный процесс моделирования локальной электроэнергетической системы.

Выделен ряд критериев оценки оптимальности локальной электроэнергетической системы, что является базовым элементом в процессе повышения энергоэффективности системы. Показано применение меры близости между различными вариантами распределения конечного множества объектов на подмножества, которые пересекаются. Предложен алгоритм формирования оптимальной структуры локальной электроэнергетической системы.

Ключевые слова: локальная энергетическая система, энергетическая эффективность, Smart Grid, Microgrid, кластерный анализ, коэффициент устойчивости разбиения, мера близости объектов.

Надійшла 15.02.2017

Received 15.02.2017

УДК 621.311.153: 62 – 52

К.Н. Ткачук, д-р техн. наук, проф.,

В.В. Калінчик, магістр,

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**ФОРМУВАННЯ ФАКТОРНОГО ПОЛЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ТА
ШКІДЛИВИХ ЧИННИКІВ ВИРОБНИЧОЇ СИСТЕМИ**

В роботі розглядаються підходи до формування складу впливаючих небезпечних і шкідливих виробничих факторів. В якості об'єкта дослідження аналізуються підприємства з вироблення скла і скляних виробів. Технологія отримання скла складається з двох виробничих циклів – циклу технології отримання скломаси і циклу технології отримання скляних виробів. В такій технології виділені наступні характерні виробничі процеси, які характеризуються наявністю небезпечних для людини факторів – транспортування сировини, випалювання і плавлення, ручні операції в процесі виробництва та відновлювальні роботи і реконструкція. Наведені чинники складають факторне поле небезпечних для людини впливів, яке містить чотири групи факторів - механічні, температурні, електричні та аерозолі. Показано, що окрім небезпечних для людини факторів, які пов'язані безпосередньо з виробничим процесом, необхідно також розглядати вплив мікроклімату виробничих приміщень. Для визначення ключових причин впливу цих факторів на людину запропоновано використання діаграма Ісікави.

Ключові слова: небезпечні та шкідливі фактори, виробничий об'єкт, ризики, діаграма Ісікави.